

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/051888

International filing date: 27 April 2005 (27.04.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 102004029815.7  
Filing date: 19 June 2004 (19.06.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 15 June 2005 (15.06.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



AT/EP200 5 / 0 5 1 8 9

( 29. 04. 2005 )

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 10 2004 029 815.7

**Anmeldetag:** 19. Juni 2004

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH,  
70469 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Anordnung zur Korrektur  
eines winkel- und/oder abstandsmessenden  
Sensorsystems

**IPC:** G 01 B 7/30

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. März 2005  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wallner

R. 308645

Verfahren und Anordnung zur Korrektur eines winkel-  
und/oder abstandsmessenden Sensorsystems

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Korrektur eines winkel- und/oder abstandsmessenden Sensorsystems nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Es sind an sich bereits Sensorsysteme für einen zu messenden Winkel bei einem rotierenden Messobjekt oder einem zu messenden Abstand bei einem sich linear bewegenden Messobjekt bekannt, bei denen die zu gewinnende Information durch ein Paar von sinus- und kosinusförmigen Messsignalen repräsentiert wird. Die Information liegt dabei in der Regel in der Amplitude und/oder in der Phase dieser Messsignale. Hierbei treten in den Messsignalen oft Winkel- oder Phasenfehler auf, die durch Fertigungstoleranzen oder sonstige schaltungstechnischen Besonderheiten in der Sensoranordnung bedingt sind.

Für sich gesehen ist auch bekannt, dass solche Sensoranordnungen nach dem GMR-Prinzip (GMR = giant magneto re-

sistance) aufgebaut werden, um den Winkel eines Magnetfeldes zu bestimmen. Solche GMR-Winkelsensoren liefern idealerweise die Signale:

$$x_{ideal} = A \cdot \cos(\alpha)$$

$$y_{ideal} = A \cdot \sin(\alpha)$$

mit der Amplitude A. Aus diesen Signalen ließe sich dann im Prinzip der zu messende Winkel  $\alpha$  eindeutig bestimmen. Allerdings besitzen solche GMR-Winkelsensoren systematische Fehler, so dass die Ausgänge die folgenden Signale liefern:

$$x = A_1 \cdot \cos(\alpha) + x_0$$

$$y = A_2 \cdot \sin(\alpha + \delta) + y_0$$

Da die eigentlich gesuchte Größe der Winkel  $\alpha$  ist, stellen die Werte  $x_0$  und  $y_0$  die Offsets des Winkelsensors dar. Die Signalamplituden  $A_1$  und  $A_2$  sind hierbei im allgemeinen unterschiedlich groß und die Phasenverschiebung zwischen den Größen  $x$  und  $y$  ist nicht genau  $90^\circ$ , sie weist nach dem Offsetabzug und einer Normierung auf die gleiche Amplitude einen Phasenfehler  $\delta$  auf.

Beispielsweise ist aus der DE 101 54 153 A1 ein Verfahren zum Offsetabgleich eines winkel- und/oder abstandsmessenden Sensorsystems bekannt, bei dem zwar die Werte für  $x_0$  und  $y_0$  aus Messungen bestimmt werden, jedoch müssen bei diesem bekannten Verfahren, die Bedingungen für die Amplituden  $A_1=A_2$  und für den Phasenfehler  $\delta=0$  erfüllt sein.

Außerdem ist aus der DE 100 34 733 A1 ein Verfahren bekannt, bei dem die Amplituden  $A_1$  und  $A_2$  bzw. die Werte  $x_0$  und  $y_0$  sowie der Phasenfehler  $\delta$  aus den Messdaten berech-

net werden. Hierbei ist jedoch die Berechnung sehr aufwendig und damit bei einem Einsatz als Abgleichverfahren sehr zeitkritisch. Da die zugrundeliegenden Gleichungen nichtlinear in den gesuchten Parametern sind, muss eine nichtlineare Regression durchgeführt werden, wobei Iterations- bzw. Näherungsverfahren eingesetzt werden, die die benötigten Rechenzeiten unkalkulierbar machen. Die Konvergenzeigenschaften der bekannten Verfahren hängen jedoch stark von der Wahl einer geeigneten Anfangslösung ab, so dass bei einer ungünstigen Wahl solche Verfahren nachteilig sein können.

#### Vorteile der Erfindung

Das eingangs erwähnte gattungsgemäßen Verfahren zur Korrektur eines winkel- und/oder abstandsmessenden Sensorsystems, bei dem sinus- und kosinusförmige Messsignale ausgewertet werden, die durch Abtasten eines bewegten Messobjekts gewonnen worden sind und dabei Winkel- oder Phasenfehler der Messsignale korrigiert werden, wird in vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass das Verfahren aus einem Abgleich- und einem nachfolgendem Korrekturverfahren besteht, wobei im Abgleichverfahren aus einer vorgegebenen Anzahl von Messwertpaaren durch Drehung des Magnetfeldes nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate und durch Lösung eines linearen Gleichungssystems Offsetwerte der sinus- und kosinusförmige Messsignale und Korrekturparameter bereitgestellt werden. Dann wird im Korrekturverfahren aus jedem Messwertpaar ein korrigiertes Messwertpaar ermittelt und der zu messende Winkel wird in vorteilhafter Weise mit einem geeig-

neten Algorithmus aus den jeweils korrigierten Messwertpaaren ermittelt.

Die im erfindungsgemäßen Abgleichverfahren ermittelten Messwertpaare liegen auf Ellipsen, wobei die Bestimmung der Ellipsenparameter nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durchgeführt wird. Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform wird das jeweilige Fehlerquadrat nach den Ellipsenparametern abgeleitet und die jeweilige Ableitung als notwendige Bedingung für ein Minimum auf null gesetzt. Aus den jeweiligen Ableitungen kann nunmehr das lineare Gleichungssystem aufgestellt werden, so dass mit einem geeigneten Eliminationsverfahren das Gleichungssystem nach den gesuchten Ellipsenparametern aufgelöst wird und hieraus die Offsetwerte und die Korrekturparameter ermittelt werden.

Weiterhin wird eine vorteilhafte Anordnung zur Durchführung eines solchen Verfahrens vorgeschlagen, bei der die Sensoranordnung gemeinsam mit einer Auswerteschaltung zur Korrektur der Messwerte auf einem integrierten Mikrochip aufgebaut ist. Der Mikrochip mit der Sensoranordnung und der Auswerteschaltung weist hierbei bevorzugt Schnittstellen zur Ein- und/oder Ausgabe von Daten und/oder Parametern auf. Als vorteilhaftes Anwendungsbeispiel ist der Mikrochip mit der Sensoranordnung und der Auswerteschaltung als Lenkwinkelsensor in einem Kraftfahrzeug eingesetzt.

Mit der Erfindung ist es somit auf einfache Weise möglich in einem ersten Verfahrensteil die Sensorfehler eines individuellen Sensorelements zu analysieren und die zugehörigen Parameter zu bestimmen. In einem zweiten Verfahrensteil können dann mittels der Auswerteschaltung die Sensorfehler korrigiert bzw. kompensiert werden.

Der Vorteil der vorgeschlagenen Lösung besteht insbesondere darin, dass für die Bestimmung der notwendigen Sensorparameter keinerlei Iterationen oder Näherungen wie beim Stand der Technik notwendig sind. Das Ergebnis der Auswertung steht somit nach immer der gleichen Rechenzeit zur Verfügung. Dies ist besonders wichtig beim Abgleich der Sensorauswerteschaltung während der Herstellung, da hier mit einem festen Herstellungstakt gearbeitet werden muss.

Für die Berechnung der Sensorparameter können beliebig viele Messwerte  $N$ , z.B.  $N=100$ , herangezogen werden; sie werden alle nach dem Prinzip der kleinsten Fehlerquadratsumme berücksichtigt. Weiterhin werden nicht alle bisher benötigten Parameter bestimmt, sondern nur die Parameter, die für die Korrektur der Sensorsignale benötigt werden, hier sind es nur vier Parameter.

#### Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel einer Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Blockschaltbild einer solchen Anordnung zur Durchführung eines Abgleichverfahrens in einer winkel- und/oder abstandsmessenden Sensoranordnung und

Figur 2 ein Blockschaltbild zur Durchführung des Korrekturverfahrens und der Ermittlung des Ausgangssignals der winkel- und/oder abstandsmessenden Sensoranordnung.

### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Figur 1 ist ein Blockschaltbild einer Anordnung dargestellt, mit der die von einem Sensor 1, z.B. mit einem in der Beschreibungseinleitung erwähnten AMR- oder GMR-Sensor, zur Winkel- oder Abstandsmessung gelieferten Sinus- und Cosinus-Signale  $x, y$  weiterverarbeitet werden. Der Sensor 1 erfasst hierbei die durch eine Winkeldrehung  $\alpha$  bewirkte Änderung des Magnetfeldes eines Magneten 2. Es erfolgt dann innerhalb einer Abgleichschaltung 3 in einem Baustein 4 eine Erfassung von  $N$  Messwertpaaren  $x, y$  mit  $N, i=1 \dots N$ , z.B.  $N=100$ , Messwertpaaren  $x_i, y_i$ . Anschließend wird die im Folgenden erläuterte Parameterberechnung in einem Baustein 5 durchgeführt, so dass an einem Ausgang 6 hier die Parameter  $x_0, y_0, m_1, m_2$  zur weiteren Auswertung in einer anhand Figur 2 beschriebenen Auswerteschaltung weiterverarbeitet werden können.

Durch Drehung des Magneten 2, dessen Magnetfeldrichtung im Sensor 1 erfasst wird, werden die im Abgleichverfahren ermittelten Messwertpaare  $x_i, y_i$ , verarbeitet, die auf Ellipsen liegen und folgender Gleichung genügen:

$$f(x, y) = w_1 \cdot x^2 + 2 \cdot w_2 \cdot x \cdot y + w_3 \cdot y^2 + 2 \cdot w_4 \cdot x + 2 \cdot w_5 \cdot y + 1 = 0.$$

Hierbei stellen wobei die Parameter  $w_1 \dots w_5$  die Parameter der Ellipse dar. Um diese Parameter  $w_1 \dots w_5$  aus den Messwertpaare  $x_i, y_i$  zu bestimmen, wird ein sogenannter Kleinst-Fehlerquadrat-Ansatz zur Bestimmung des Fehlerquadrats  $g$  gemacht:

$$g = \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i)^2 = \min.$$



Das Fehlerquadrat  $g$  ist hierbei bezüglich der gesuchten Ellipsenparameter  $w_1 \dots w_5$  zu minimieren. Dazu wird das Fehlerquadrat  $g$  nach den Ellipsenparameter  $w_1 \dots w_5$  abgeleitet und die jeweilige Ableitung als notwendige Bedingung für ein Minimum auf null gesetzt:

$$\frac{dg}{dw_j} = 0, j = 1 \dots 5.$$

Hieraus kann ein lineares Gleichungssystem gebildet werden, das dann nach den gesuchten Ellipsenparametern  $w_1 \dots w_5$ , z.B. mit Hilfe des Gaußschen Eliminationsverfahrens oder einer anderen geeigneten bekannten Methode, aufgelöst werden kann.

Ein solche Gleichung kann wie folgt aussehen:

$$\begin{bmatrix} sx4 & 2 \cdot sx3y & sx2y2 & 2 \cdot sx3 & 2 \cdot sx2y \\ sx3y & 2 \cdot sx2y2 & sxy3 & 2 \cdot sx2y & 2 \cdot sxy2 \\ sx2y2 & 2 \cdot sxy3 & sy4 & 2 \cdot sxy2 & 2 \cdot sy3 \\ sx3 & 2 \cdot sx2y & sxy2 & 2 \cdot sx2 & 2 \cdot sxy \\ sx2y & 2 \cdot sxy3 & sy3 & 2 \cdot sxy & 2 \cdot sy2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -sx2 \\ -sxy \\ -sy2 \\ -sx \\ -sy \end{bmatrix}$$

Die Berechnung der in dem obigen Gleichungssystem benötigten 13 verschiedenen Zahlenwerte erfolgt aus den Messdaten  $x_i, y_i$  nach folgenden Beziehungen:

$$sx = \sum_{i=1}^N x_i \quad sy = \sum_{i=1}^N y_i \quad sxy = \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i$$

$$sx2 = \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad sy2 = \sum_{i=1}^N y_i^2 \quad sx2y = \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot y_i$$

$$sx3 = \sum_{i=1}^N x_i^3 \quad sy3 = \sum_{i=1}^N y_i^3 \quad sxy2 = \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i^2$$

$$sx4 = \sum_{i=1}^N x_i^4 \quad sy4 = \sum_{i=1}^N y_i^4 \quad sxy3 = \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i^3$$

$$sx3y = \sum_{i=1}^N x_i^3 \cdot y_i$$

Aus den nunmehr gefundenen Ellipsenparametern  $w_1 \dots w_5$  können dann die gesuchten Offsetwerte  $x_o, y_o$  und die oben erwähnten Parameter  $m_1$  und  $m_2$  berechnet werden:

$$x_o = \frac{w_2 \cdot w_5 - w_3 \cdot w_4}{w_1 \cdot w_3 - w_2^2}$$

$$y_o = \frac{w_2 \cdot w_4 - w_1 \cdot w_5}{w_1 \cdot w_3 - w_2^2}$$

Zur Berechnung der beiden Parameter  $m_1$  und  $m_2$  müssen zunächst Zwischenwerte  $v$  und  $r$  gebildet werden:

$$v = \sqrt{\frac{w_1 + w_3 - r}{w_1 + w_3 + r}} \quad \text{mit} \quad r = \sqrt{(w_1 - w_3)^2 + 4 \cdot w_2^2} \quad .$$

Nun lassen sich die gesuchten Parameter  $m_1$  und  $m_2$  wie folgt berechnen:

$$m_1 = \frac{w_2}{r} \cdot \left( \frac{1}{v} - v \right)$$

$$m_2 = \frac{1}{2} \cdot \left( \left( \frac{1}{v} + v \right) - \left( \frac{1}{v} - v \right) \cdot \frac{w_1 - w_3}{r} \right) .$$

Die gesuchten Offsetwerte  $x_o, y_o$  und die Parameter  $m_1$  und  $m_2$  werden dann, wie anhand der Figur 1 beschrieben, am Ausgang 6 hinterlegt und in der aus der Figur 2 ersicht-

lichen Auswerteschaltung 7 wird in einem Korrekturbau-  
stein 8 das korrigierte Messwertpaar  $x_i', y_i'$  nach folgen-  
den Beziehungen ermittelt:

$$x_i' = x_i - x_0 \quad \text{und} \quad y_i' = m_1 \cdot x_i' + m_2 \cdot (y_i - y_0).$$

Der in der Anordnung nach den Figuren 1 und 2 zu messende  
Winkel  $\alpha$ , entsprechend der Drehung des Magneten 2, kann  
dann in der Auswerteschaltung 7 in einem Baustein 9 aus  
 $\alpha = \text{arc}(x' + i \cdot y')$ , beispielsweise nach einem sogenannten  
CORDIC-Algorithmus oder einer aus der Programmiersprache  
C bekannten atan2-Funktion, eindeutig und genau berechnet  
und einem Ausgang 10 der Auswerteschaltung 7 zur Verfü-  
gung gestellt werden.

R. 308645

Patentansprüche

1) Verfahren zur Korrektur einer winkel- und/oder abstandsmessenden Sensoranordnung (1), bei der

- sinus- und kosinusförmige Messsignale  $(x_i, y_i)$  ausgewertet werden, die durch Abtasten eines bewegten Messobjekts in einem Magnetfeld gewonnen worden sind und bei dem
- Winkel- und/oder Phasenfehler der Messsignale  $(x_i, y_i)$  korrigiert werden, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- das Verfahren zur Korrektur der winkel- und/oder abstandsmessenden Sensoranordnung aus einem Abgleich- und einem nachfolgendem Korrekturverfahren besteht, wobei
- im Abgleichverfahren aus einer vorgegebenen Anzahl ( $N$  aus  $i=1 \dots N$ ) von Messwertpaaren  $(x_i, y_i)$  durch Drehung des Magnetfeldes nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate und durch Lösung eines linearen Gleichungssystems Offsetwerte  $(x_0, y_0)$  der sinus- und kosinusförmigen Messsignale  $(x_i, y_i)$  und Korrekturparameter  $(m_1, m_2)$  bereitgestellt werden und dass
- im Korrekturverfahren aus jedem Messwertpaar  $(x_i, y_i)$  ein korrigiertes Messwertpaar  $(x_i', y_i')$  ermittelt wird.

2) Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- der zu messende Winkel ( $\alpha$ ) mit einem Algorithmus aus den jeweils korrigierten Messwertpaaren  $(x_i', y_i')$  ermittelt wird.

3) Verfahren nach Anspruch 2 **dadurch gekennzeichnet, dass**

- der zu messende Winkel ( $\alpha$ ) im Korrekturverfahren nach der Beziehung  $\alpha = \arctan(x' + i \cdot y')$  ermittelt wird.

4) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- das korrigierte Messwertpaar  $(x_i', y_i')$  im Korrekturverfahren nach den Beziehungen
- $x_i' = x_i - x_0$  und  $y_i' = m_1 \cdot x_i' + m_2 \cdot (y_i - y_0)$  ermittelt wird.

5) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die im Abgleichverfahren ermittelten Messwertpaare  $(x_i, y_i)$  auf Ellipsen liegen, die folgender Gleichung genügen:
- $f(x, y) = w_1 \cdot x^2 + 2 \cdot w_2 \cdot x \cdot y + w_3 \cdot y^2 + 2 \cdot w_4 \cdot x + 2 \cdot w_5 \cdot y + 1$ ,
- wobei die Bestimmung der Ellipsenparameter  $(w_1 \dots w_5)$  nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (g) mit
- $g = \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i)^2 = \min$  durchgeführt wird.

6) Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- das Fehlerquadrat (g) nach den Ellipsenparametern ( $w_1 \dots w_5$ ) abgeleitet und die jeweilige Ableitung als notwendige Bedingung für ein Minimum auf null gesetzt wird und dass
- aus den jeweiligen Ableitungen das lineare Gleichungssystem aufgestellt wird, so dass mit einem geeigneten Eliminationsverfahren das Gleichungssystem nach den gesuchten Ellipsenparametern ( $w_1 \dots w_5$ ) aufgelöst wird und hieraus die Offsetwerte ( $x_0, y_0$ ) und die Korrekturparameter ( $m_1, m_2$ ) ermittelt werden.

7) Anordnung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Sensoranordnung gemeinsam mit einer Abgleich- und Auswerteschaltung (3,7) zur Korrektur der Messwerte auf einem integrierten Mikrochip aufgebaut sind.

8) Sensoranordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- der Mikrochip mit der Sensoranordnung und der Abgleich- und Auswerteschaltung (3,7) Schnittstellen (6,10) zur Ein- und/oder Ausgabe von Daten und/oder Parametern aufweist.

9) Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 7 oder 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

- der Mikrochip mit der Sensoranordnung und der Auswerteschaltung als Lenkwinkelsensor in einem Kraftfahrzeug eingesetzt wird.

R. 308645

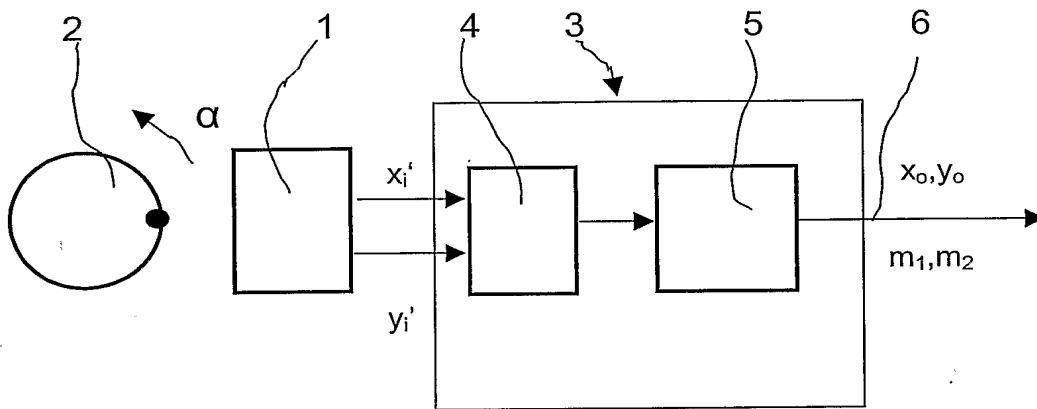
### Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren und eine Anordnung zur Korrektur einer winkel- und/oder abstandsmessenden Sensoranordnung (1) vorgeschlagen, bei der sinus- und kosinusförmige Messsignale  $(x_i, y_i)$  ausgewertet werden, die durch Abtasten eines bewegten Messobjekts (2) gewonnen worden sind. Zur Korrektur der Winkel- und/oder Phasenfehler der Messsignale  $(x_i, y_i)$  besteht das Verfahren aus einem Abgleich- und einem nachfolgendem Korrekturverfahren. Im Abgleichverfahren werden Korrekturparameter  $(m_1, m_2)$  bereitgestellt und im Korrekturverfahren wird aus jedem Messwertpaar  $(x_i, y_i)$  ein korrigiertes Messwertpaar  $(x_i', y_i')$  ermittelt.

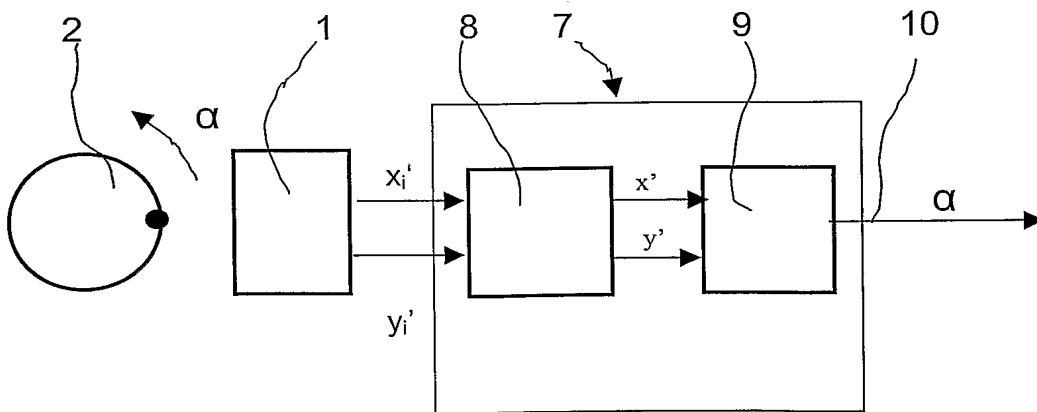
(Figur 1)



1/1



Figur 1



Figur 2